



**(19) BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES
PATENTAMT**

**⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 43 15 806 A 1**

(51) Int. Cl.⁵:
H 04 L 27/00
H 04 L 27/18
H 04 L 7/02
H 04 J 13/00

(21) Aktenzeichen: P 43 15 806.4
(22) Anmeldetag: 12. 5. 93
(43) Offenlegungstag: 17. 11. 94

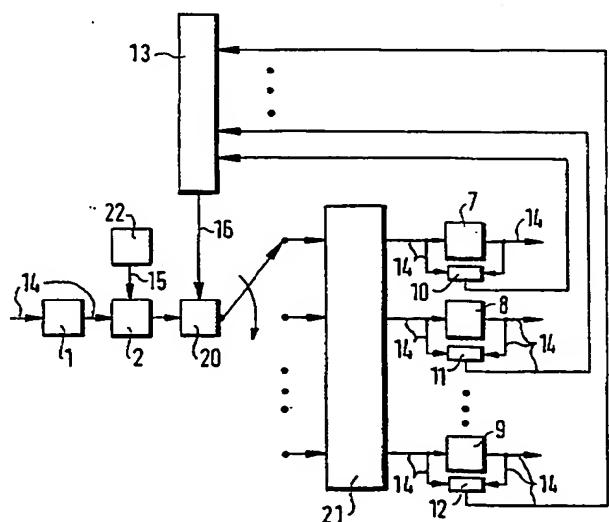
DE 43 15 806 A 1

(71) Anmelder:

72 Erfinder:
Kammeyer, Karl-Dirk, Prof. Dr., 21244 Buchholz, DE

54) Verfahren zur entscheidungsrückgekoppelten Taktregelung

57 Es wird ein Verfahren vorgeschlagen, das zur entscheidungsrückgekoppelten Taktregelung bei Multiträgerverfahren mit Rechteckimpulsformung und mit phasenkontrahenter Trägerrückgewinnung angewendet wird. Das Verfahren ermittelt mit Hilfe eines Symmetriekriteriums eine Abweichung des Symboltaktes vom idealen Symboltakt. Die Regelung des Symboltaktes erfolgt über einen Kommutator, der das Multiträgersignal auf die Eingänge einer Polyphasenfilterbank verteilt.



Beschreibung

Stand der Technik

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren nach der Gattung des Hauptanspruchs. Es ist schon ein Verfahren zur entscheidungsrückgekoppelten Taktregelung bekannt, das in z. B. K.D. Kammerer, H. Schenck, "Ein analytisches Modell für die Taktableitung in digitalen Modems", Schüssler Verlag 1980, Seite 81 bis 87, beschrieben ist. Dabei werden Gesamtsysteme verwendet, deren Impulsantwort die erste Nyquist-Bedingung erfüllen und einen Nulldurchgang vor und nach dem Hauptimpuls aufweisen. Deshalb eignen sich diese Datenpulse zu einer entscheidungsrückgekoppelten Taktregelung unter Verwendung eines Symmetriekriteriums zur Ermittlung der Taktabweichung vom optimalen Takt.

Dabei ermöglicht das Symmetriekriterium eine Taktregelung auf die Nullstellen vor und nach dem Hauptimpuls. Die ermittelte Taktabweichung wird einem programmierbaren Baustein zugeführt, der ein vorgegebenes Taktraster eines Schwingquarzes verändert und mit dem veränderten Taktraster die Datensymbole abtastet.

Weiterhin ist es aus K.D. Kammerer, "Nachrichtenübertragung", Teubner Verlag, Stuttgart 1992, Seite 598 ff. bekannt, Multiträgerverfahren mit Rechteckimpulsformung und mit phasenkohärenter Trägerrückgewinnung zur Übertragung von Daten zu verwenden. Bei diesen Übertragungsverfahren wird jedoch die Taktableitung anhand von anderen Kriterien realisiert. Dabei wird z. B. von Trainingssequenzen Gebrauch gemacht, an denen sich die Abtastung bis zum nächsten Trainingsintervall orientiert. Ein Nachteil solcher Verfahren besteht darin, daß zwischen den Trainingssequenzen keine Nachführung des Taktes stattfindet. Dadurch ergeben sich größere Abweichungen vom optimalen Abtakttakt.

Zudem ist es aus dem Buch von R.E. Crochiere, "Multirate Digital Signal Processing", Prentice Hall 1983, Seite 86 ff. bekannt, Polyphasenfilterbänke mit Hilfe eines Kommutators auszuführen.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat demgegenüber den Vorteil, daß das bekannte Symmetriekriterium K zur Taktregelung bei einem Multiträgerverfahren mit Rechteckimpulsformung und mit phasenkohärenter Trägerrückgewinnung eingesetzt wird. Das bekannte Symmetriekriterium führt trotz fehlender Nulldurchgänge der verwendeten Rechteckimpulse entgegen den Erwartungen zu einer guten Taktregelung. Zudem erweist sich das bekannte Symmetriekriterium K auch unter Kanaleinfluß und bei linearer Verzerrung der Datensignale als sehr robust und führt auch unter diesen Einflüssen zu einer guten Taktregelung.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Hauptanspruch angegebenen Verfahrens möglich. Das erfindungsgemäße Verfahren wird in besonderer Weise verbessert, indem der Kommutator von einer Regeleinheit nach dem Symmetriekriterium gesteuert wird. Eine einfache Steuerung des Kommutators wird erreicht, indem der Kommutator um ganze Vielfache eines vorgegebenen Abtaktes vor-

oder zurückgestellt wird. Ein besonderer Vorteil liegt darin, daß der Abtakttakt, nach dem die Regeleinheit den Kommutator steuert, nicht verändert werden muß. Dadurch ist eine kostengünstige Realisierung der Taktregelung möglich.

Das Verfahren wird in seiner Ausführung optimiert, indem die Recheneinheit als Polyphasenfilterbank ausgeführt wird. Dadurch ist es möglich, die Einzelträgersignale eines Multiträgersignals parallel zu verarbeiten und auf diese Weise eine schnelle Datenverarbeitung zu erreichen.

Besonders vorteilhaft wird das verwendete Verfahren weitergebildet, indem eine Ensemblemittelung über die Symmetriekriterien der Einzelträgersignale ausgeführt wird und das gemittelte Kriterium zur Regelung des Kommutators verwendet wird. Auf diese Weise wird in kurzer Zeit ein Mittelwert der Taktabweichung vom optimalen Takt erhalten. Dadurch ist in kurzer Zeit eine präzise Taktregelung möglich.

Die erfindungsgemäße Taktregelung ist besonders für das Orthogonal Frequency Division Multiplexing Verfahren (OFDM) geeignet.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert. Es zeigt Fig. 1 Teile eines Empfängers mit einem Kommutator und einer Polyphasenfilterbank.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In der Figur ist ein analoger Hochfrequenz-Demodulator 1 dargestellt, der mit einem Analog-Digital-Wandler 2 über eine Datenleitung 14 verbunden ist. Der Analog-Digital-Wandler 2 ist über eine Steuerleitung 15 mit einem Taktgenerator 22 mit festgelegter Systemtaktfrequenz verbunden. Weiterhin ist der Analog-Digital-Wandler 2 über eine weitere Datenleitung 14 über einen Kommutator 20 mit einer Polyphasenfilterbank 21 verbunden. Der Kommutator 20 ist über eine Steuerleitung 16 mit einer Regeleinheit 13 verbunden. Die Polyphasenfilterbank 21 ist über eine festgelegte Anzahl N Datenleitungen 14 mit einer festgelegten Anzahl N Entscheidern 7, 8, 9 verbunden.

Der Eingang jedes Entscheiders 7, 8, 9 ist über eine Datenleitung 14 mit einem Abtastdifferenz-Detektor 10, 11, 12 verbunden. Zudem führt von dem Ausgang jedes Entscheiders 7, 8, 9 eine Datenleitung 14 zu dem gleichen Abtastdifferenz-Detektor 10, 11, 12, der mit dem Eingang des gleichen Entscheiders 7, 8, 9 verbunden ist. Die Abtastdifferenz-Detektoren 10, 11, 12 sind jeweils über eine Datenleitung 14 mit der Regeleinheit 13 verbunden. Die Regeleinheit 13 besteht aus einem Rechenwerk zur Steuerung, d. h. zur Vor- und Rückstellung, des Kommutators 20 in Abhängigkeit vom Symmetriekriterium K.

Ein moduliertes analoges Hochfrequenz-Trägersignal, das dem analogen Hochfrequenz-Demodulator 1 zugeführt wird, wird in eine niedrigere Frequenzlage verschoben und über eine Datenleitung 14 an den Analog-Digital-Wandler 2 weitergegeben. Der Kommutator 20 verteilt die vom Analog-Digital-Wandler 2 erzeugte digitale Zahlenfolge auf die Eingänge der Polyphasenfilterbank 21 entsprechend den von der Regeleinheit 13 vorgegebenen Taktsteuer-Signal.

Die Polyphasenfilterbank 21 filtert aus einem Multi-

trägersignal Einzelträgersignale, die die enthaltenen Daten darstellen, heraus und gibt diese über Datenleitungen 14 an die Entscheider 7, 8, 9 weiter. Die Entscheider 7, 8, 9 entscheiden die enthaltenen Daten in entschiedene Daten und geben diese zur weiteren Verarbeitung aus.

Die entschiedenen Daten werden zum Beispiel bei einem Multiträgerübertragungsverfahren Decodern zugeführt, die die entschiedenen Daten decodieren und einem Parallel-Serien-Wandler zuführen. Die Parallel-Serien-Wandler erzeugen die ursprüngliche Datenfolge, die zur Erzeugung von Sprache bzw. Bildern weiter verarbeitet wird.

Die am Eingang jedes Entscheiders 7, 8, 9 vorliegenden enthaltenen Daten und die daraus entschiedenen Daten werden jeweils einem Abtastdifferenz-Detektor 10, 11, 12 zugeführt. Die Abtastdifferenz-Detektoren 10, 11, 12 ermitteln aus den enthaltenen Daten und den entschiedenen Daten unter Verwendung des bekannten Symmetriekriteriums $K := (x(i-1)D(i) - x(i)D(i-1))$, wobei mit $x(i)$ bzw. $x(i-1)$ das enthaltene Datum zum Zeitpunkt i bzw. $i-1$ und mit $D(i)$ bzw. mit $D(i-1)$ das entschiedene Datum zum Zeitpunkt i bzw. $i-1$ bezeichnet ist, ein Maß für die Fehlertastung der enthaltenen Daten. Das Symmetriekriterium K für eine entscheidungsrückgekoppelte Taktregelung ist z. B. in K.D. Kammeyer "Nachrichtenübertragung", Teubner Verlag Stuttgart 1992, Seite 213 ff. beschrieben. Die von den Abtastdifferenz-Detektoren 10, 11, 12 ermittelten Symmetriekriterien K werden über Datenleitungen 14 an die Regeleinheit 13 weitergegeben. Die Regeleinheit 13 ermittelt aus den zugeführten Symmetriekriterien ein Steuersignal, das den Kommutator 20 so regelt, daß der Symboltakt in Richtung optimalen Symboltaktes verschoben wird.

Anhand der Fig. 1 wird ein ausgewähltes Ausführungsbeispiel erläutert. Als Übertragungssystem wird z. B. ein Multiträgersystem verwendet, das in K.D. Kammeyer, H. Schulze, U. Tuisel, H. Bochmann, "Digital Multiple Carrier Transmisson Of Audio Signals Over Mobile Radio Channels", European Transactions On Telecommunication, Vol. 3, 1992, Seite 23 bis 33, beschrieben ist.

Als Impulsformen für die Datenimpulse werden Rechteckimpulse mit Guard-Intervall nach dem bekannten Orthogonal Frequency Division Multiplexing Verfahren, wie z. B. bei K.D. Kammeyer, "Nachrichtenübertragung", Teubner Verlag Stuttgart 1992, Seite 611 ff und bei A. Alard, R. Lassalle: "Principles of Modulation and Channel Coding for Digital Broadcasting for Mobile Receivers", European Broadcasting Union Review-Technical, No. 224, August 1987, beschrieben, verwendet.

Bei Multiträgersystemen wird eine zu übertragende Bitfolge mit Hilfe eines Serien-Parallel-Wandlers in Datengruppen festgelegter Bitanzahl zerlegt. Die Datengruppen werden daraufhin parallel in identischen Codierern in komplexe Symbole der gewünschten Modulationsform umgesetzt. Nach einer anschließenden Bandbegrenzung durch identische Impulsformer erfolgt eine Modulation in Form von Einzelträgersignalen mit äquidistanten Trägerfrequenzen. Abschließend erfolgt eine Summation aller Einzelträgersignale. Das so gebildete Multiträgersignal wird zur Übertragung mit einer Radiofrequenz moduliert und als moduliertes analoges Hochfrequenz-Trägersignal übertragen.

Das modulierte analoge Hochfrequenz-Trägersignal wird einem Hochfrequenz-Demodulator 1 zugeführt,

der das Hochfrequenz-Trägersignal von der Hochfrequenz in eine tiefere Frequenzlage verschiebt und an einen Analog-Digital-Wandler 2 weitergibt. Der Analog-Digital-Wandler 2 digitalisiert das demodulierte Trägersignal nach einem konstanten Abtasttakt, der von dem Taktgenerator 22 vorgegeben wird.

Der Analog-Digital-Wandler 2 gibt die sich ergebende digitale Zahlenfolge an einem Kommutator 20 weiter.

10 Der Kommutator 20 wird von der Regeleinheit 13 über die Steuerleitung 16 geregelt. Der Kommutator 20 verteilt die digitale Zahlenfolge auf die Eingänge der Polyphasenfilterbank 21. Die Polyphasenfilterbank 21 ermittelt aus der zugeführten digitalen Zahlenfolge parallel für jedes Einzelträgersignal die enthaltenen Daten. Die in den Einzelträgersignalen enthaltenen Daten werden parallel weiterverarbeitet. Die weitere Verarbeitung wird anhand eines Weges beschrieben, der jedoch für alle Einzelträgersignale analog zutrifft.

20 Auf die Funktionsweise des Kommutators 20 bzw. der Polyphasenfilterbank 21 soll hier nicht näher eingegangen werden, da diese Stand der Technik sind und aus R.P. Crochier, "Multirate Digital Signal Processing", Prentice-Hall 1983, bekannt sind.

25 In diesem verwendeten Beispiel wird der Kommutator 20 von der Regeleinheit 13 im Symboltakt geregelt. Dazu setzt die Regeleinheit 13 den Kommutator 20 zu Beginn eines jeden Symbolintervalls um eine Position vor oder zurück, je nachdem, ob das Symmetriekriterium einen zu langsam oder zu schnellen Takt anzeigt.

Bei Multiträgersystemen ist der Abtasttakt ($1/T_A$) um den Faktor N , der der Anzahl N der Einzelträger entspricht, höher als der Symboltakt ($1/T$), so daß zur Korrektur des Symboltaktes eine Verschiebung um Vielfache des Abtasttaktes durch die Regeleinheit 13 in Abhängigkeit von den Symmetriekriterien bzw. dem gemittelten Symmetriekriterium möglich ist. Es ist daher keine aufwendige kontinuierliche Steuerung der Frequenz eines Oszillators notwendig. Eine Korrektur des Symboltaktes erfolgt durch Regelung des Kommutators 20 durch die Regeleinheit 13, wobei diskrete zeitliche Korrekturen des Symboltaktes um die Zeitinkremente $\pm T_A$ erreicht werden.

30 Die in dem Einzelträgersignal enthaltenen Daten werden von der Polyphasenfilterbank 21 an den Entscheider 7 weiter gegeben. Der Entscheider 7 entscheidet aufgrund der enthaltenen Daten entschiedene Daten und gibt diese zur weiteren Verarbeitung weiter. Die am Eingang des Entscheiders 7 vorliegenden enthaltenen Daten und die am Ausgang des Entscheiders 7 vorliegenden entschiedenen Daten werden jeweils über Datenleitungen 14 dem Abtastdifferenz-Detektor 10 zugeführt. Der Abtastdifferenz-Detektor 10 ermittelt das Symmetriekriterium K aus den enthaltenen Daten und den entschiedenen Daten. Da das Symmetriekriterium K eine Größe darstellt, die proportional zur Abweichung des Symboltaktes vom optimalen Symboltakt ist, wird das Symmetriekriterium zur Steuerung des Kommutators 20 verwendet. Das Symmetriekriterium K wird über eine Datenleitung 14 an die Regeleinheit 13 weitergegeben.

35 Auf diese Weise wird für jeden der N Einzelträger, wie in dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 dargestellt, ein Symmetriekriterium K ermittelt und an die Regeleinheit 13 weitergegeben. Die Regeleinheit 13 steuert nun in Abhängigkeit von den zugeführten Symmetriekriterien den Kommutator 20. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, über alle zugeführten Symmetriekriterien K

in der Regeleinheit 13 eine Ensemblemittelung durchzuführen und das gemittelte Symmetriekriterium für die Steuerung des Kommutators 20 zu verwenden.

Neben der verwendeten OFDM-Impulsformung können auch andere Impulsformungen verwendet werden. Versuche mit OFDM-Impulsformung zeigen, daß bei Verwendung von Gesamtsystemen deren Impulsantworten keine Nulldurchgänge aufweisen, das gemittelte Symmetriekriterium K bei einem relativen Taktfehler von $\Delta t/T$ von $\pm 0,1$ den Wert 0 annimmt, wobei Δt die Taktabweichung vom optimalen Symboltakt und T die Zeitdauer zwischen zwei Takten bezeichnet.

Die Taktregelung stellt sich somit auf den Bereich des "Guard-Intervalls" bei OFDM-Impulsformung ein, in dem eine fehlerfreie Datumscheidung möglich ist. Zudem zeigen Versuche, daß sogar für den Fall von Mehrwegechos in den Übertragungskanälen bei relativen Taktfehlern von $\Delta t/T = 0,1$ das gemittelte Symmetriekriterium einen Nulldurchgang aufweist, solange die maximale Echolaufzeit kleiner als das Guard-Intervall ist. Die Takttableitung stellt sich somit auf den rechten Augenrand ein, bei dem eine Datumscheidung eindeutig möglich ist.

Das Multiträgerverfahren bietet den Vorteil, eine Mittelwertbildung des Symmetriekriteriums K über alle Einzelträger vornehmen zu können und dadurch bei entsprechend großer Anzahl N an Einzelträgern in kurzer Zeit einen guten Mittelwert zu erhalten. Damit ist nach kurzer Zeit eine exakte Taktregelung möglich. Es ist jedoch zu bemerken, daß das beschriebene Verfahren eine funktionierende Trägerregelung voraussetzt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur entscheidungsrückgekoppelten Taktregelung bei einem Übertragungsverfahren, wobei ein moduliertes analoges Trägersignal demoduliert wird und das demodulierte Signal analog-digital gewandelt wird, wobei die Analog-Digital Wandlung mit einem vorgegebenen Takt erfolgt und die digitale Zahlenfolge anschließend über einen Kommutator einer Recheneinheit zugeführt wird und von der Recheneinheit aus der digitalen Zahlenfolge die enthaltenen Daten ermittelt werden und die enthaltenen Daten anschließend in entschiedene Daten entschieden werden und zur Weiterverarbeitung weitergegeben werden und die enthaltenen Daten und die entschiedenen Daten Abtastdifferenz-Detektoren zugeführt werden und aus den enthaltenen Daten und den entschiedenen Daten Symmetriekriterien $K := (x(i-1)d(i) - x(i)d(i-1))$ ermittelt werden, wobei mit $x(i)$ bzw. $x(i-1)$ das enthaltene Datum zum Zeitpunkt i bzw. $i-1$ und mit $d(i)$ bzw. $d(i-1)$ das entschiedene Datum zum Zeitpunkt i bzw. $i-1$ bezeichnet ist, wobei das Symmetriekriterium K ein Maß für die Fehlabtastung der enthaltenen Daten darstellt und die Abtastung der enthaltenen Daten in Abhängigkeit von den Symmetriekriterien K geregelt wird, dadurch gekennzeichnet, daß als Übertragungsverfahren ein Multiträgerverfahren mit Rechteckimpulsformung und mit phasenkohärenter Trägerrückgewinnung verwendet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Kommutator (20) von einer Regeleinheit (13) nach dem Symmetriekriterium K gesteuert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch

gekennzeichnet, daß als Recheneinheit eine Polyphasenfilterbank (21) verwendet wird und die Einzelträgersignale als enthaltene Daten von der Polyphasenfilterbank (21) aus dem Multiträgersignal herausgefiltert werden und anschließend in entschiedene Daten entschieden werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß eine Ensemblemittelung über die Symmetriekriterien K der Einzelträgersignale durchgeführt wird und das gemittelte Symmetriekriterium von der Regeleinheit (13) zur Regelung des Kommutators (20) verwendet wird.

5. Verfahren nach einer der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Übertragungsverfahren das Orthogonal Frequency Division Multiplexing Verfahren verwendet wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

